

# Sledovanie zmien mechanických vlastností u protichemického odevu pri pôsobení fyzikálne - chemických vplyvov

## Monitoring of Changes in Mechanical Properties of Chemical Protective Clothing under the Influence of Physical and Chemical Effects

Ing. Kristína Matušincová<sup>1</sup>

doc. Bc. Ing. Linda Makovická Osvaldová, Ph.D.<sup>1</sup>

doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., MBA<sup>2</sup>

Ing. Jaroslav Hölzel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Žilinská univerzita v Žiline

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Slovenská republika

<sup>2</sup>Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i.

Jeruzalémská 1283/9, 110 00 Praha 1 - Nové Město

matusincova.kristina@gmail.com

### Abstrakt

Príspevok obsahuje porovnanie a analýzu zmien mechanických vlastností odevu (napr. napätie, sila pretrhnutia, modul pružnosti) pred testovaním a po testoch na prienik aerosóly nanočastíc. Prienik je sledovaný u jednotlivých častí odevu, ako sú rukávy, nohavice a hrud'.

V ďalšom kroku bolo vykonané sledovanie zmien časti odevu pri vystavení vzoriek silným kyselinám (kyselina sírová, kyselina dusičná), peroxidu vodíka, organickej zlúčenine, vodnej pare, vplyvu teploty a UV žiarenia.

V príspevku sa taktiež porovnávajú pocity pri teste v skúšobnej komore s publikovanými údajmi.

### Kľúčové slová

Protichemický odev, modul pružnosti, napätí, fyzikálne - chemické faktory.

### Abstract

An article includes a comparison and analysis of changes in clothing mechanical properties (e.g., tension, tear strength, elastic modulus) prior testing and after nanoparticle aerosol penetration tests. The breakthrough is observed in different parts of the garment, such as sleeves, trousers and chest. The next step was to monitor changes in the garment when exposed to strong acids (sulfuric acid, nitric acid), hydrogen peroxide, organic compound, water vapor, temperature and UV radiation. An article also compares the test feelings in the test chamber with published data.

### Keywords

Protective clothing, modulus of elasticity, voltage, physical - chemical factors.

### Ochranný odev

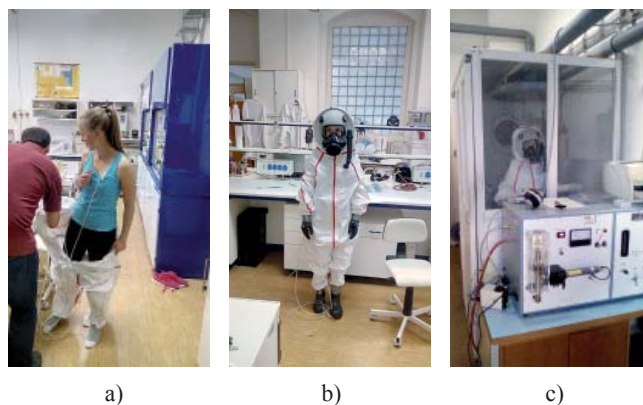
Pri rôznych nebezpečných zásahoch je dôležité, aby si hasiči vystavení nebezpečenstvu, chránili svoj život a tým aj svoje zdravie. Za týmto účelom sa na ochranu povrchu tela používajú rôzne druhy ochranných odevov, jeden z nich je nižšie popísaný.

### Protichemický odev CLEAN AIR ULTIMATE

Protichemický odev CLEAN AIR ULTIMATE bol dodaný anonymnou firmou. Možno o ňom hovoriť ako o antistatickom odevu, ktorý je vyhotovený z horľavého materiálu a ktorý je tvorený dvomi vrstvami - vrstvený polyetylen a polypropylenová vnútorná vrstva. Oblek je určený k jednorazovému použitiu a je definovaný ako oblek proti kvapalným aerosólom, proti prieniku pevných častíc, proti postreku kvapalnými chemikáliami, proti kontaminácii rádioaktívnymi čast'ami a proti nebezpečným mikroorganizmom, biologickým rizikám a infekčným chorobám.

### Prienik aerosóly NaCl cez jednotlivé časti ochranného odevu

Protichemický ochranný odev CLEAN AIR ULTIMATE sme testovali na bežiacom páse v testovacej komore, kde sme zisťovali celkovú netesnosť ochranného odevu voči aerosólom NaCl. Na tomto druhu merania sa okrem mňa zúčastnili aj ďalší štyria dobrovoľníci, pričom každý z nás testoval dva druhy ochranného odevu. Na naše oblečenie, ktoré sme mali pod ochranným odevom, boli umiestnené jednotlivé sondy, ktoré merali prienik na jednotlivých miestach nášho tela - koleno, pás, hrud' (obr. 1a). Po oblečení do ochranného odevu (obr. 1b) som vstúpila do testovacej komory (obr. 1c).



Obr. 1 Oblečenie do testovaného ochranného odevu a inštalácia meracích sond a následné meranie prieniku aerosóly v testovacej komore

Získané výsledky som s pomocou pracovníka Výzkumného ústavu bezpečnosti práce v.v.i. v Prahe, kde sa testovanie uskutočnilo, spracovala a jednotlivé hodnoty prienikov som porovnala s hodnotami, ktoré sú stanovené v normách:

- ČSN EN ISO 13982-1:2005 Ochranný oděv pro použití proti pevným částicím chemikálií,
- ČSN EN ISO 13982-2:2005 Ochranný oděv pro použití proti pevným částicím chemikálií.

Tab. 1 Výsledky merania prieniku aerosóly

Skúšajúca osoba	Vzorka č.	Cvičenie/odber	Koleno	Pás	Hrud'	Celkový priemer [%]
Kristína Matušincová	9	pokoj	1,537	0,0827	0,1832	<b>1,0762</b>
		chôdza	1,8296	0,0989	0,1982	
		drepy	4,9259	0,1003	0,7302	
Kristína Matušincová	10	pokoj	0,193	0,1314	0,3776	<b>0,2644</b>
		chôdza	0,1851	0,1268	0,4377	
		drepy	0,2219	0,1695	0,537	

Tab. 2 Celkový priemer prienikov všetkých skúšajúcich osôb

Cvičenie/odber	Koleno	Pás	Hrud'	Priemer z cvičenia v %
Pokoj	0,8092	0,2943	0,2093	<b>0,4376</b>
Chôdza	1,0035	0,4272	0,2308	<b>0,5538</b>
Drepy	3,0766	0,7875	0,4284	<b>1,4308</b>
<b>Priemer v mieste odberu</b>	<b>1,6298</b>	<b>0,5030</b>	<b>0,2895</b>	<b>0,8074</b>

Celkový priemer prieniku zo všetkých miest, pre všetky cvičenia (10 vzoriek), pre všetky testované osoby na odev je: 0,8074 %.

Testovaný protichemický ochranný odev vyhovuje normami stanoveným požiadavkám, pričom platí:  $L_{jmn} \ 82/90 \leq 30 \%$  a  $L_s \ 8/10 \leq 15 \%$ . Znamená to, že 82 z 90 výsledkov, pri zaznamenávaní výsledkov priepustnosti počas pokoja, chôdze a pri vykonávaní drepov na jednotlivých miestach tela, na ktorých boli umiestnené sondy, má priepustnosť nižšiu ako 30 %. Tiež platí, že pri celkovom priemere prienikov každej vzorky, má 8 z 10 výsledkov priepustnosť nižšiu ako 15 %.

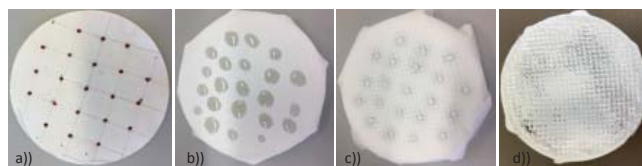
Prieniky na jednotlivých miestach odevu boli rôzne. Aj napriek tomu, že vyhovovali stanoveným normám ich hodnoty sa líšili niekoľko násobným rozdielom.

#### Vplyv fyzikálne chemických faktorov na zmenu mechanických vlastností

Na konkrétne vzorky sme podľa makety (obr. 2a) kapali anorganické a organické chemikálie. Kapali sme anorganické chemikálie ako  $H_2SO_4$  - kyselinu sírovú (obr. 2b),  $HNO_3$  - kyselinu dusičnú (obr. 2c),  $H_2O_2$  - peroxid vodíka a organickú chemikáliu  $C_2H_5OS$  - dimethylsulfoxid. Všetky chemikálie sme na vzorkách nechali pôsobiť po dobu 60 minút. Po uplynutí tejto doby sme každú jednu vzorku s anorganickou chemikáliou opláchnuli 50 ml destilovanej vody, a každú jednu vzorku s organickou chemikáliou opláchnuli najprv 10 ml etanolu a potom 50 ml destilovanej vody. Takto opláchnuté vzorky sme vložili do elektrickej sušiarne MEMMERT ULE 400, kde bola nastavená teplota 35 °C.

Ďalšou časťou testovania odevu bolo zisťovanie, aké účinky má na neho pôsobenie vodnej pary. Jednotlivé časti obleku sme tiež ďalej testovali aj iným spôsobom. Po dobu približne 20 minút sme ochranný odev vystavili pôsobeniu UV žiarenia (obr. 2d), ktoré malo teplotu až 100 °C. Oblek sa úplne poškodil a stal sa nepoužiteľným. Na záver sme ešte časť ochranného odevu vystavili dlhodobému pôsobeniu zvýšenej teploty. Po dobu 24 hodín bola testovaná časť obleku umiestnená v sušičke, kde bola vystavená teplota 65 °C.

Jednotlivé časti odevu sa znehodnotili v rôznom rozsahu, čo sme následne preukázali pri trhaní jednotlivých častí na trhacom zariadení.



Obr. 2 Príprava jednotlivých vzoriek

#### Trhanie jednotlivých častí ochranného odevu na trhacom zariadení

Zisťovanie mechanických vlastností ochranných odevov sa vykonávalo v priestoroch Výzkumného ústavu bezpečnosti práce, v.v.i. v Prahe. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i. v Prahe je certifikovaný ústav, ktorý vykonáva rôzne testovania na rozličných prístrojoch.

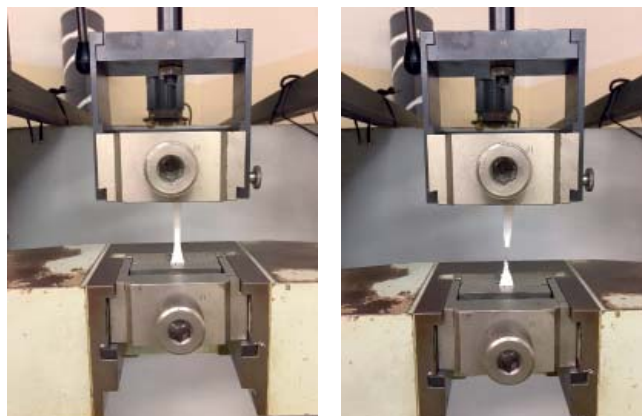
Vzorky ochranného odevu boli narezané na pružky šírky 15 mm a uchytané do trhacieho zariadenia na dĺžku 40 mm. Nasledovala ťahové namáhanie statickou silou. Merali sme napätie pri pretrhnutí vzorky a následne sme vypočítavali modul pružnosti „E“, ktorý vyjadruje tuhosť. Čím vyššia je hodnota E, tým je vyššia tuhosť materiálu.

Trhanie sa uskutočnilo v miestnosti, kde bola teplota 21,7 °C a vlhkosť vzduchu 58,7 %. Na trhanie bol použitý prístroj VEB THÜRMER INDUSTRIEWERK RAUENSTEIN, ktorý bol čerstvo kalibrovaný pred našim meraním.

Sústava určená na trhanie jednotlivých vzoriek pozostáva z dvoch častí. Ľavú časť tvorí zariadenie z ktorého možno odčítať veľkosť sily, ktorou bola daná vzorka postupne napínaná a taktiež veľkosť sily pri ktorej došlo k roztrhnutiu vzorky. Pravou časťou je zariadenie, do ktorého sa skúmané vzorky upevnia a ktoré zároveň zaznamenáva dĺžku -  $\Delta l$ , pri ktorej došlo k roztrhnutiu vzorky.



Obr. 3 Trhacie zariadenie VEB THÜRMER INDUSTRIEWERK RAUENSTEIN



Obr. 4 Trhanie vybranej vzorky ochranného odevu

## Vyhodnotenie a analýza výsledkov

Nami získané hodnoty napätia a modulu pružnosti pre testovaný ochranný odev CLEAN AIR ULTIMATE sme získali krátkodobou, statickou, ťahovou silou a sú uvedené v tab. 3 až 11.

Tab. 3 Výsledky trhania nového ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE

Biely oblek - NOVÝ	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
LR	2,00	10,67	5,43
PR	1,18	12,20	10,67
LN	1,38	6,10	4,54
PN	1,69	6,71	4,01
H	1,08	11,96	11,10
<b>Ø</b>	<b>1,47</b>	<b>9,53</b>	<b>7,15</b>

Tab. 4 Výsledky trhania použitého ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE

Biely oblek - POUŽITÝ	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
LR	1,59	11,27	7,12
PR	1,05	11,56	11,08
LN	1,87	6,30	3,39
PN	1,97	6,71	3,44
H	1,50	12,69	8,77
<b>Ø</b>	<b>1,60</b>	<b>9,71</b>	<b>6,76</b>

U nového ochranného odevu a odevu, ktorý bol jeden krát použitý v skúšobnej komore, sme pri vzorkách pripravených z rôznych častí ochranného odevu zistili rozdielne hodnoty deformácie, napätia a modulu pružnosti (LR - ľavá ruka, PR - pravá ruka, LN - ľavá noha, PN - pravá noha, H - hrud'). Získané výsledky možno vidieť v tab. 3 a 4.

Najvyšší modul pružnosti bol nameraný u vzorky z pravej ruky a hrude a to ako u nového ochranného odevu, tak aj u toho, ktorý prešiel testom na prienik aerosólov. Tuhosť nepoužitého a jedenkrát použitého ochranného odevu sa mierne líšila v prospech nového ochranného odevu.

Tab. 5 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po pôsobení H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Biely oblek - H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
LR	1,04	11,68	11,59
PR	0,95	11,80	12,43
LN	1,00	12,00	12,06
PN	1,00	11,64	11,84
H	1,04	11,92	11,57
<b>Ø</b>	<b>1,00</b>	<b>11,81</b>	<b>11,90</b>

Ďalej sme sledovali vplyv fyzikálnych a chemických faktorov na zmenu mechanických vlastností nového ochranného odevu. Prehľad získaných hodnôt deformácie, napätia a modulu pružnosti popisujú tab. 5 až 11. V tabuľkách možno vidieť výsledky trhania časti

ochranného odevu v dôsledku pôsobenia anorganických chemikálií H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - kyseliny sírovej, HNO<sub>3</sub> - kyseliny dusičnej, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - peroxidu vodíka a organickej chemikálie C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OS - dimethylsulfoxidu, vodnej pary, UV žiarenia a dlhodobého pôsobenia zvýšenej teploty.

Tab. 6 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po pôsobení HNO<sub>3</sub>

Biely oblek - HNO <sub>3</sub>	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
LR	1,10	6,14	5,58
PR	1,12	6,30	5,70
LN	0,93	10,75	11,54
PN	1,17	5,98	5,11
H	0,99	11,35	11,45
<b>Ø</b>	<b>1,06</b>	<b>8,11</b>	<b>7,88</b>

Tab. 7 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po pôsobení H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Biely oblek - H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
LR	0,99	10,42	10,60
PR	1,06	4,69	4,49
LN	1,10	5,37	4,92
PN	0,94	9,86	10,63
H	0,96	12,20	12,99
<b>Ø</b>	<b>1,01</b>	<b>8,51</b>	<b>8,72</b>

Tab. 8 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po pôsobení C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>OS

Biely oblek - C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> OS	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
LR	1,04	12,08	11,71
PR	0,94	11,15	11,93
LN	0,84	10,26	12,21
PN	0,97	11,07	11,47
H	1,03	11,76	11,46
<b>Ø</b>	<b>0,96</b>	<b>11,26</b>	<b>11,76</b>

Z nameraných hodnôt v tab. 5 až 8 možno konštatovať:

- zvýšenú tuhosť materiálu, v podstate rovnaké hodnoty, sme zaznamenali pri testovaní ochranného odevu kyselinou sírovou a dimethylsulfoxidom,
- nejednoznačné výsledky hodnoty tuhosti sme zaznamenali pri styku s kyselinou dusičnou a peroxidom vodíka.

Tab. 9 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po pôsobení vodnej pary

Biely oblek - VODNÁ PARA	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
ER	1,48	7,15	5,01
PR	1,02	11,15	10,95
EN	1,05	11,80	11,41
PN	1,07	12,53	11,74
H	1,06	7,07	6,78
<b>Ø</b>	<b>1,14</b>	<b>9,94</b>	<b>9,17</b>

Tab. 10 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po pôsobení UV žiarenia

Biely oblek	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
UV žiarenie	0,08	0,11	1,49

Tab. 11 Výsledky trhania ochranného odevu CLEAN AIR ULTIMATE po dlhodobom pôsobení zvýšenej teploty

Biely oblek	Deformácia	Napätie [MPa]	Modul pružnosti [MPa]
	$\varepsilon$	$\sigma$	$E$
24 h, 65 °C	1,15	6,34	5,69

Z nameraných hodnôt v tab. 9 až 11 možno konštatovať:

- nejednoznačné výsledky hodnoty tuhosti sme zaznamenali pri styku s vodnou parou,
- UV žiarenie spôsobuje degradáciu materiálu, rovnako dlhodobé pôsobenie zvýšenej teploty vedie k zníženiu modulu pružnosti.

Chemická odolnosť polypropylénu, ktorý je chápaný ako menej odolný polymér polyetylénu a to vďaka vodíku, ktorý je viazaný na terciárny uhlík, je predpokladom nižšej odolnosti k oxidačným látkam (oxidačná degradácia polyméru).

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že difúzia do polymérov mení mechanické vlastnosti ochranného odevu. Čo sa týka jednotlivých výsledkov, tak možno skonštatovať, že kyselina sírová zvyšuje pevnosť, čo je spôsobené nárastom kryštalinity polypropylénu. Pri kyseline dusičnej možno zhodnotiť, že k degradácii nedochádza na povrchu, ale vnútri polymérov. Pri vzorkách s peroxidom vodíka sme dospeli k záveru, že peroxid vodíka síce nereaguje s polypropylénom, ale aj napriek tomu ovplyvňuje jeho mechanické vlastnosti.

Celková deformácia polymérov je časovo závislá. Môžeme konštatovať, že pri krátkodobom zaťažovaní sa polymér chová ako tuhý a pevný materiál, zatiaľ čo pri dlhodobom namáhaní je jeho deformácia väčšia a materiál je poddajný (plastický).